

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09232629 A**(43) Date of publication of application: **05.09.97**

(51) Int. Cl.

**H01L 33/00**  
**H01L 21/205**  
**H01S 3/18**

(21) Application number: **08038259**(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**(22) Date of filing: **26.02.96**(72) Inventor: **SUGIURA RISA**

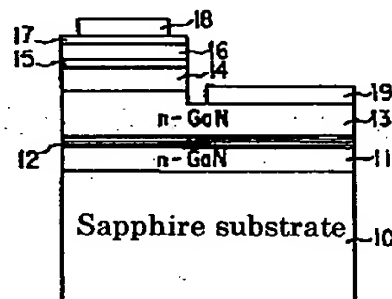
## (54) SEMICONDUCTOR ELEMENT

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress the spread of the high density dislocation generated on the interface between a substrate and a growth layer to growth direction by a method wherein a cubic crystal distortion layer, having a substantial growth surface {111}, is provided between the growth substrate of a semiconductor element having an element part consisting of a hexagonal crystal semiconductor.

**SOLUTION:** A cubic crystal type n-GaN layer 11, having a growth surface, is formed on a sapphire substrate 10, and a distorted superlattice layer 12, on which an n-GaN layer and an n-HiGaN layer are alternately grown in critical film thickness or less, is formed thereon. An n-GaN layer 13, a clad layer 14, an active layer 15, a clad layer 16 and a contact layer 17 are successively grown thereon. Most of the dislocation of the high density generated by the lattice mismatching on the interface between the n-GaN layer 11 and the sapphire substrate 10 is changed its propagation direction by the distorted superlattice layer 12, and the propagation to the growth direction of transposition of high density generated on the interface between the substrate and the growth layer can be suppressed.

COPYRIGHT: (C)1997,JPO



[Claim(s)]

[Claim 1] The semiconductor device characterized by preparing cubic type \*\*\*\* which has a substantial {111} growth side between a growth substrate and the aforementioned element section in the semiconductor device which has the element section which consists of a hexagonal type semiconductor.

[Claim 2] The semiconductor device characterized by preparing the cubic type distorted superlattice which has the substantial {111} growth side which includes the growth side which has less than 30 inclinations from {111} sides between a growth substrate and the aforementioned element section in the semiconductor device which has the element section which consists of a hexagonal type semiconductor.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] this invention relates to the semiconductor device which consists of a compound semiconductor containing nitrogen, such as a semiconductor device especially GaN, AlGaIn, and InGaIn.

[0002]

[Description of the Prior Art] In order to aim at improvement in the recording density of an optical disk, and improvement in the resolution of a LASER beam printer in recent years, the semiconductor laser (LD) in which luminescence by short wavelength is possible is demanded. As semiconductor laser of short wavelength, the property improvement also of which of reading of a disk and writing is carried out even at possible level, and 600nm band light source by InGaAlP material is already put in practical use. Aiming at the further improvement in recording density, development of blue semiconductor laser is performed briskly.

[0003] In such development, development to which the bluish green color semiconductor laser using the ZnSe system material which is an II-VI group compound semiconductor has aimed at utilization, such as reinforcement and improvement in reliability, since oscillation operation was checked is performed briskly.

[0004] However, by this material system, it is becoming clear that the obstruction to utilization -- the life from which the transposition produced according to the grid mismatching difference and coefficient-of-thermal-

expansion difference between the substrate for growth and the growth phase which has the element section increases by energization, and reliability is not acquired is short -- is expensive.

[0005] On the other hand, short-wavelength-izing is still more possible for GaN system semiconductor laser than a ZnSe system in material, and also about reliability, since it is hardening in material compared with a ZnSe system, it is expected as a promising material. Although the transposition of  $10^8$  -  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  exists by this material system, the reliability of 10,000 hours or more is checked in Light Emitting Diode, and research and development of the blue semiconductor laser which fulfills conditions required for the optical disk system light source of the next generation are done briskly now.

[0006] By Light Emitting Diode, existence of the transposition of  $10^8$  -  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  does not pose a big problem as mentioned above. However, in LD which needs high current density pouring, existence of the high-density transposition of aforementioned  $10^8$  -  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  becomes the cause of reducing reliability.

[0007] By the way, the GaN system semiconductor device generally used as Light Emitting Diode and LD now is formed on silicon on sapphire, and consists of a hexagonal type (wurtzite type) semiconductor. Many results that the hexagonal type of the crystal of a GaN system is more advantageous in respect of crystal quality as a GaN crystal for obtaining Light Emitting Diode and the object for LD the place which is the former although a hexagonal type and a cubic type exist are reported.

[0008] Drawing 9 is the cross section showing the outline structure of the conventional GaN system semiconductor device. The transposition in a hexagonal type crystal is (101-0) (1(11-00)- expresses the in berth of 1.). below the same -- etc. -- since it is the easiest to produce a skid on the cylindrical surface, the high-density transposition of  $10^8$  -  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  produced by the grid mismatching between silicon on sapphire and a GaN layer as shown in drawing 9 spreads in the growth direction (a growth side and perpendicular direction), and penetrates to a front face to a barrier-layer pan

[0009] Therefore, since the high-density transposition of  $10^8$  -  $10^{10}\text{cm}^{-2}$  exists in a barrier layer, crystallinity is bad, and it poses a problem that propagation of transposition and proliferation arise by high current density pouring in the case of LD etc., in order to reduce the reliability of an element.

[0010] In order to secure the reliability of GaN system semiconductor laser, it is important to reduce the density of the transposition generated in the interface of a substrate and a growth phase or not to make a barrier layer spread the high-density transposition of  $10^8 - 10^{10} \text{cm}^{-2}$  which exist now.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] As mentioned above, in hexagonal type semiconductor devices including the conventional nitride system semiconductor device, since it is the easiest to spread the transposition generated in the interface of a substrate and a growth phase in the growth direction (a growth side and perpendicular direction), the transposition once produced in the interface will penetrate the element section as it is, and will escape from it on a growth phase front face. Especially in the case of the GaN system LD, the high-density transposition of  $10^8 - 10^{10} \text{cm}^{-2}$  spread to the barrier layer which is an element core, and there was a problem of reducing the reliability of an element by high current density pouring.

[0012] this invention was made in consideration of the above-mentioned situation, and aims at offering the semiconductor device which can secure the reliability of an element by having structure which does not penetrate the transposition generated in the interface of a substrate and a growth phase to an element core (it is a barrier layer in the case of a light emitting device).

[0013]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, invention corresponding to a claim 1 is the semiconductor device which prepared cubic type \*\*\*\* which has a substantial {111} growth side between a growth substrate and the element section first in the semiconductor device which has the element section which consists of a hexagonal type semiconductor.

[0014] Next, invention corresponding to a claim 2 is the semiconductor device which prepared the cubic type distorted superlattice which has a substantial {111} growth side including the growth side which has less than 30 inclinations from {111} sides between a growth substrate and the element section in the semiconductor device which has the element section which consists of a hexagonal type semiconductor.

(Operation) Thereby, according to the semiconductor device of invention

corresponding to a claim 1, the propagation to the growth direction of the high-density transposition generated in the interface of a substrate and a growth phase can be first suppressed by preparing cubic type \*\*\*\* which has a {111} growth side in the lower part of a hexagonal type semiconductor device core.

[0015] That is, when the transposition from a substrate reaches \*\*\*\*, the great portion of transposition falls out to a semiconductor device flank by the skid in the {111} sides which are a sliding surface of a cubic type crystal.

[0016] Therefore, the reliability of an element is securable by having structure which does not penetrate the transposition generated in the interface of a substrate and a growth phase to an element core (it is a barrier layer in the case of a light emitting device).

[0017] In addition, although it may be \*\*\*\* of a monolayer, this \*\*\*\* is much more effective, if a distorted superlattice layer is used, for example. Next, in the semiconductor device of invention corresponding to a claim 2, the growth side which has less than 30 inclinations from {111} sides, such as a {112} growth side and a {113} growth side, is included in the substantial {111} growth side. Even if there are about less than 30 inclinations from {111} sides, it works enough and the above-mentioned \*\*\*\*\* effect by the skid in {111} sides acts like a semiconductor device according to claim 1.

[0018] In addition, as a means to solve the technical problem mentioned above, the following contents besides the above-mentioned means are also included.

(1) The aforementioned element section is a semiconductor device according to claim 1 or 2 characterized by the bird clapper from the compound semiconductor containing nitrogen, such as GaN, AlGaN, and InGaN.

(2) It is the semiconductor device which is equipped with the cubic type semiconductor layer which has a substantial {111} growth side between a growth substrate and the aforementioned element section in the semiconductor device which has the element section which consists of a hexagonal type semiconductor, and is characterized by being a mist straw paddle layer from other semiconductor layers which a concerned cubic type semiconductor layer touches in the aforementioned element section side.

(3) It is the semiconductor device which is equipped with the cubic type semiconductor layer which has a substantial {111} growth side between a

growth substrate and the aforementioned element section in the semiconductor device which has the element section which consists of a hexagonal type semiconductor, and is characterized by a concerned cubic type semiconductor layer being a layer harder than other semiconductor layers which touch in the aforementioned growth substrate side.

[0019] In addition, although the \*\*\*\*\* effect is fully acquired even when a monolayer is used as a cubic type semiconductor layer, as shown in the above (2) or (3), the case of the distorted superlattice used combining the each cubic type semiconductor layer in (2) and (3) can decrease transposition most effectively.

[0020]

[Embodiments of the Invention] Hereafter, the operation gestalt of this invention is explained in detail with reference to a drawing.

(Gestalt of implementation of the 1st of invention) Drawing 1 is the cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 1st operation gestalt of this invention.

[0021] In this semiconductor laser equipment, it is formed on silicon on sapphire 10. On silicon on sapphire 10, the cubic type (sphalerite type) n-GaN layer 11 (Si dope,  $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) which has a growth side first (111) is grown up at 650 degrees C by the organic-metal vapor growth (the MOCVD method).

[0022] The distorted superlattice layer 12 (Si dope,  $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) which grows a n-GaN layer and a n-AlGaIn layer by turns below by critical thickness on it is grown up at 650 degrees C. By making it grow up on the same conditions on the sphalerite [ which has a growth (111) side ] type n-GaN layer 11, this distorted superlattice layer 12 turns into a sphalerite type distorted superlattice layer which has the same (111) growth side.

[0023] Next, the n-GaN layer 13 (an Si dope) which has a hexagonal type (wurtzite type) on the distorted superlattice layer 12 by adjusting growth conditions  $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  is formed and it is the wurtzite type n-aluminum<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N clad layer 14 (an Si dope) succeeding.  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  and 0.15 micrometers of thickness, the GaN barrier layer 15 (undoping) 0.1 micrometers of thickness, the p-aluminum<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>N clad layer 16 (3 Mg dope, 0.15 micrometers of  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  thickness), and the GaN contact layer



17 (3 Mg dope, 0.1 micrometers of one to  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  thickness) are grown up at 1150 degrees C one by one. Here, control of the crystalline form to the wurtzite type crystal from a sphalerite type crystal is performed by control of the flow rate of the ammonia which is growth temperature and hydrogen, nitrogen carrier gas, and a nitrogen raw material.

[0024] Moreover, although not illustrated especially, between the n-GaN layer 11 and silicon on sapphire 10, the AlN buffer layer which carried out low-temperature growth at 550 degrees C at the time of MOCVD growth is prepared.

[0025] Furthermore, the p lateral electrode 18 is formed in the GaN contact layer 17 upper surface, and the n lateral electrode 19 is formed in the upper surface portion to which the laminating of the n-AlGaIn clad layer 14 on the n-GaN layer 13 is not carried out. Thus, the blue semiconductor laser equipment concerning this operation gestalt was obtained.

[0026] About the blue semiconductor laser equipment of the above-mentioned composition, the great portion of high-density transposition of  $10^8 - 10^{10} \text{cm}^{-2}$  generated by grid mismatching in the interface of silicon on sapphire 10 and the n-GaN layer 11 when the transmission electron microscope performed element observation from a cross section is changing propagation in the distorted superlattice layer 12 prepared by this invention, and it was checked that the dislocation density in a barrier layer 15 is decreasing even to the  $10^3 \text{cm}^{-3}$  set.

[0027] Thus, why dislocation density decreases is explained using drawing 2. Drawing 2 is a \*\* type view explaining signs that transposition falls out in the semiconductor device of this operation gestalt.

[0028] When the transposition which spreads the inside of a semiconductor tends to go into a hard semiconductor layer relatively from a soft semiconductor layer, advance of the transposition propagation will be obstructed and it will change the propagation direction. Drawing 2 showed this situation.

[0029] In the n-GaN layer and n-AlGaIn layer which constitute the distorted superlattice layer 12, it compares with a n-GaN layer and the n-AlGaIn layer is a hard layer. Therefore, as shown in this drawing, transposition 70 will change the propagation direction horizontally in the position which is going to go into a n-GaN layer from a n-AlGaIn layer.

[0030] Specifically, it has been because the sliding surface of a cubic type crystal is a field (111) that change of such a transposition propagation direction takes place. That is, by having formed the distorted superlattice layer 12 which consists of sphalerite [ which has a growth (111) side ] type a n-GaN layer and a n-AlGaN layer between the substrate and the barrier layer Since it becomes the easiest to slide the field which is a sliding surface of a cubic type crystal (111), and on a field parallel (111) to distortion to [ of a distorted superlattice ] a growth side moreover on the great portion of transposition generated in the interface of silicon on sapphire 10 and the n-GaN layer 11, Propagation can be bent and it is thought that it escapes on the side (the growth direction and perpendicular direction) of an element.

[0031] The dislocation density of the semiconductor layer containing the barrier layer 15 after the n-GaN layer 13 which contains a barrier layer 15 by this as described above decreases sharply. Room temperature continuous oscillation of the semiconductor laser equipment produced as mentioned above was carried out with the threshold of 150mA. Oscillation wavelength was 365nm and operating voltage was 10V.

[0032] As mentioned above, according to the semiconductor device concerning the gestalt of operation of the 1st of this invention Since the propagation to the growth direction of the high-density transposition which prepared the cubic type distorted superlattice layer which has a growth (111) side in the lower part of a hexagonal type semiconductor device core, and was generated in the interface of a substrate and a growth side was suppressed In the barrier-layer section, even  $10^3 \text{ cm}^{-2}$  can be decreased by the distorted superlattice, and reliability can raise sharply the transposition of  $10^8 - 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  generated in the interface of a substrate and a growth phase in GaN system blue semiconductor laser.

[0033] that is, at the GaN system blue semiconductor laser of structure explained with the conventional technology, it generated in the interface of a substrate and a growth phase -- the reliability of an element was not acquired -- an element is destroyed by high current density pouring from the life of operation for several seconds or several minutes -- even if laser oscillation operation was checked by existence of  $10^8 - 10^{10} \text{ cm}^{-2}$  to see laser oscillation was difficult

[0034] On the other hand, although the point that operating voltage was

high remained as it was, in the above-mentioned semiconductor device produced according to the content of this operation gestalt, the life of operation was prolonged by 100 to 1000 times over the past, and its reliability of an element improved sharply by it. (Gestalt of implementation of the 2nd of invention) As 2nd operation gestalt, the blue semiconductor laser element which was produced by the MOCVD method and from which structure differs a little is explained like the 1st operation gestalt.

[0035] Drawing 3 is the cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 2nd operation gestalt of this invention. In this GaN system blue semiconductor laser equipment, a GaN buffer layer (not shown) is prepared at 550-degree C low temperature on silicon on sapphire 20, and the cubic type (sphalerite type) n-GaN layer 21 (Si dope,  $3\text{--}5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) which has a growth side first (111) like the case of the 1st operation gestalt on it is grown up at 750 degrees C.

[0036] Furthermore, the sphalerite type n-GaN/n-InGaN distorted superlattice layer 22 (Si dope,  $3\text{--}5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) which has a growth side the same (111) on the n-GaN layer 21 is grown up at 750 degrees C.

[0037] Next, the n-GaN layer 23 (an Si dope) which has a hexagonal type (wurtzite type)  $3\text{--}5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  is formed, and it continues, and is the n-aluminum<sub>0.5</sub> Ga<sub>0.5</sub> N clad layer 24 (Si doping).  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  and 0.3 micrometers of thickness, the GaN light confining layer 25 (undoping) 0.2 micrometers of thickness, the In<sub>0.1</sub> Ga<sub>0.9</sub> N multiplex quantum well barrier layer 26, the GaN light confining layer 27 (undoping) 0.2 micrometers of thickness, the p-aluminum<sub>0.5</sub> Ga<sub>0.5</sub> N clad layer 28 (3 Mg dope, 0.3 micrometers of  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  thickness), and the GaN contact layer 29 (3 Mg dope, 0.1 micrometers of one to  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  thickness) are grown up at 1150 degrees C one by one.

[0038] Furthermore, the p lateral electrode 30 is formed in the GaN contact layer 29 upper surface, and the n lateral electrode 31 is formed in the upper surface portion to which the laminating of the n-AlGa<sub>0.5</sub>N clad layer 24 on the n-GaN layer 23 is not carried out. Thus, the blue semiconductor laser equipment concerning this operation gestalt was obtained.

[0039] Also in this blue semiconductor laser equipment, the dislocation density of a barrier layer 26 was fully reduced. Next, oscillation operation of

the blue semiconductor laser equipment of the above-mentioned composition is explained.

[0040] With the element of this structure, continuous oscillation was carried out to 50 degrees C with the threshold of 75mA. Oscillation wavelength checked 395nm by 7V, and operating voltage checked the operational stability by 5000 hours. Since the cubic type distorted superlattice layer which has a growth (111) side in the lower part of a hexagonal type semiconductor device core was prepared like the case of the 1st operation gestalt according to the semiconductor device concerning the gestalt of operation of the 2nd of this invention as mentioned above, the same effect as the case of the 1st operation gestalt was acquired.

(Gestalt of implementation of the 3rd of invention) The case where the same GaN system semiconductor laser as the 1st and 2nd operation gestalt is formed as 3rd operation gestalt on the GaAs substrate which is a cubic type (sphalerite type) III-V group compound semiconductor, and is widely used for the optical device, the electron device, etc. is explained.

[0041] Drawing 4 is the cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment formed on the GaAs substrate which applied the semiconductor device concerning the 3rd operation gestalt of this invention. In this GaN system blue semiconductor laser equipment, the cubic type (sphalerite type) n-GaN layer 41 (Si dope,  $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) which has a growth (111) side is first grown up at 550 degrees C by the organic-metal vapor growth (the MOCVD method) on the cubic type (sphalerite type) n-GaAs (111) substrate 40.

[0042] The distorted superlattice layer 42 (Si dope,  $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) into which the n-GaN layer and the n-InGaN layer were grown up by turns below by critical thickness on it is formed. This distorted superlattice layer 42 also serves as a sphalerite type which has the same (111) growth side.

[0043] Next, in 750 degrees C, the flow rate of hydrogen, nitrogen carrier gas, and ammonia is changed. The n-GaN layer 43 (Si dope,  $3-5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ) which has a hexagonal type (wurtzite type) is formed. Then, the wurtzite type n-aluminum<sub>0.5</sub> Ga<sub>0.5</sub> N clad layer 44 (an Si dope)  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  and 0.2 micrometers of thickness, the In<sub>0.1</sub> Ga<sub>0.9</sub> N barrier layer 45 (undoping) 200Å of thickness, the p-aluminum<sub>0.5</sub> Ga<sub>0.5</sub> N clad layer 46 (3 Mg dope, 0.2 micrometers of  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  thickness), and the GaN contact layer 47 (3 Mg

dope, 0.1 micrometers of one to  $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  - thickness) are grown up at 750 degrees C one by one.

[0044] The reliability of the double hetero structured division 51 as each class which consists of the n-GaN layer 43, the n-AlGaN layer 44, the InGaN barrier layer 45, a p-AlGaN layer 46, and a GaN contact layer 47 here, i.e., the element section, of an element property improves with constituting from a hexagonal type more stable than a cubic type.

[0045] moreover, SiO<sub>2</sub> constituted in this semiconductor laser equipment on the disk which has opening from -- the becoming current constriction layer 48 is formed on the GaN contact layer 47, and the p lateral electrode 49 is formed so that it may contact the GaN contact layer 27 and directly through the above-mentioned opening further On the other hand, the n lateral electrode 50 is formed in the n-GaAs substrate 20 bottom.

[0046] Could change propagation, as a result of the great portion of transposition produced in the interface of the GaAs substrate 40 and the n-GaN layer 41 producing a skid on a growth (111) side by the distorted superlattice layer 42 prepared in this operation gestalt like the case of the 1st operation gestalt, when the transmission electron microscope performed element observation from a cross section, and having escaped on the element side (the growth direction and perpendicular direction) about the blue semiconductor laser equipment of the above-mentioned composition, was checked. The dislocation density in a barrier layer 45 was decreasing even to the  $10^3 \text{ cm}^{-2}$  set.

[0047] Next, oscillation operation of the blue semiconductor laser equipment of the above-mentioned composition is explained. Continuous oscillation of the semiconductor laser equipment which has the double hetero structure of this example was carried out to 80 degrees C with the threshold of 45mA. Oscillation wavelength checked 395nm by 4V, and operating voltage checked the operational stability by 7000 hours.

[0048] As mentioned above, according to the semiconductor device concerning the gestalt of operation of the 3rd of this invention Since the cubic type distorted superlattice layer which has a growth (111) side in the lower part of a hexagonal type semiconductor device core was prepared like the case of the 1st operation gestalt and also it enabled it to pass current in the direction of a substrate, using the GaAs substrate 40 as a substrate The

same effect as the case of the gestalt of the 1st operation is acquired, and also it can make it low to improve in respect of element resistance, i.e., resistance, especially by this laser.

[0049] although resistance becomes high in the case where an insulating substrate is used like the 1st operation gestalt like the conventional technology that is, since it becomes the method which pours in current from a longitudinal direction, when a conductive substrate is used like this operation gestalt, it is possible to pass current in the direction of a substrate, and it is remarkable, and element resistance is improved

[0050] That is, conventionally, by the GaN system blue semiconductor laser of structure, the great portion of high-density transposition generated in the interface of a substrate and a growth phase had spread to the InGaN barrier layer 45, with it being high resistance, the life of an element of operation is about several minutes, and reliability was not conjointly acquired by high current density pouring for laser oscillation.

[0051] However, in the case of this operation gestalt, by the reduction in the dislocation density of a barrier layer 45, and low resistance-ization, the life of operation was prolonged by about 7000 times over the past, and the reliability of an element improved sharply.

(Gestalt of implementation of the 4th of invention) The gestalt of this operation shows the case where \*\*\*\* of a monolayer is used.

[0052] Drawing 5 is the cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 4th operation gestalt of this invention, gives the same sign to the same portion as drawing 1 , and omits the explanation.

[0053] Replaced with the distorted superlattice layer, and the cubic type InGaN layer 71 was formed, and also this GaN system blue semiconductor laser equipment is constituted like the 1st operation gestalt. This InGaN layer 71 is compared with the n-GaN layer 13, it is a soft layer, by this, as shown in drawing 6 , transposition escapes from it, and the dislocation density of a barrier layer 15 is low.

[0054] Drawing 6 is a \*\* type view explaining signs that transposition falls out in the semiconductor device of this operation gestalt. In this drawing, if the transposition 70 which spreads up the inside of the InGaN layer 71

which is a soft layer approaches the n-GaN layer 13 which is a hard layer, it will produce a skid on a growth (111) side, and can change the propagation direction, and the transposition 70 concerned will escape from a semiconductor device flank.

[0055] Since according to the semiconductor device concerning the gestalt of operation of the 4th of this invention it had the same composition as the case of the 1st operation gestalt, and also it replaced with the distorted superlattice layer and the cubic type InGaN layer 71 was formed as mentioned above, low dislocation density-ization of a barrier layer can be attained like the case of the gestalt of the 1st operation.

(Gestalt of implementation of the 5th of invention) The gestalt of this operation shows the case where \*\*\*\* of a monolayer is used.

[0056] Drawing 7 is the cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 5th operation gestalt of this invention, gives the same sign to the same portion as drawing 1 , and omits the explanation.

[0057] Replaced with the distorted superlattice layer, and the cubic type AlGaN layer 72 was formed, and also this GaN system blue semiconductor laser equipment is constituted like the 1st operation gestalt. This AlGaN layer 72 is compared with the n-GaN layer 11, it is a hard layer, by this, as shown in drawing 8 , transposition escapes from it, and the dislocation density of a barrier layer 15 is low.

[0058] Drawing 8 is a \*\* type view explaining signs that transposition falls out in the semiconductor device of this operation gestalt. In this drawing, if the transposition 70 which spreads up the inside of the n-GaN layer 11 which is a soft layer approaches the AlGaN layer 72 which is a hard layer, it will produce a skid on a growth (111) side, and can change the propagation direction, and the transposition 70 concerned will escape from a semiconductor device flank.

[0059] Since according to the semiconductor device concerning the gestalt of operation of the 5th of this invention it had the same composition as the case of the 1st operation gestalt, and also it replaced with the distorted superlattice layer and the cubic type AlGaN layer 72 was formed as mentioned above, low dislocation density-ization of a barrier layer can be

attained like the case of the gestalt of the 1st operation.

[0060] In addition, in each above-mentioned operation form, although hexagonal type silicon on sapphire and the cubic type GaAs substrate were used as the substrate, this invention is not limited to this, and even when SiC, Si, ZnO, a spinel, neodium gallate ( $\text{NdGaO}_3$ , NGO), etc. are used as a substrate, it can be applied similarly.

[0061] Moreover, although the field (0001) of a sapphire substrate is generally used as a growth side in the case of a crystal growth like the above 1st, the 2nd, the 4th, and 5th operation form, this invention is not restricted to this and can use various fields, such as a field (011-2) of a sapphire substrate.

[0062] Furthermore, with each above-mentioned operation form, although the layer of a sake without [ of the superlattice layers 12, 22, and 42, the InGaN layer 71, and AlGaN layer 72 grade ] dislocation was explained by the case of a {111} growth side, this invention is not restricted in this case. For example, if it is the field which has about less than 30 inclinations from {111} sides, such as {112} sides and {113} sides, the dislocation omission effect by the skid in the field which is a sliding surface of a cubic type crystal (111) can fully be demonstrated, and, also in such a case, it is contained in the range of this invention. In addition, although (111) explained as expression of the crystal face with each operation form, it cannot be overemphasized that the same effect can be acquired also by the case of {111}.

[0063] this invention can be applied not only to a semiconductor light emitting device but to electron device fields, such as a photo detector and a transistor, as a semiconductor layer which has a hexagonal type further again. in addition, in the range which is not limited to the form of each above-mentioned implementation, and does not deviate from the summary, many things are boiled and this invention can be deformed

[0064]

[Effect of the Invention] Since according to this invention the cubic type semiconductor layer which has a growth (111) side in the lower part of a hexagonal type semiconductor layer is prepared and the propagation to the growth direction of dislocation was suppressed as explained above, as the dislocation generated in the interface of a substrate and a growth phase is not penetrated to an element core (it is a barrier layer in the case of a light



emitting device), the semiconductor device which can secure the reliability of an element can be offered.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 1st operation gestalt of this invention.

[Drawing 2] The \*\* type view explaining signs that transposition falls out in the semiconductor device of this operation gestalt.

[Drawing 3] The cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 2nd operation gestalt of this invention.

[Drawing 4] The cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment formed on the GaAs substrate which applied the semiconductor device concerning the 3rd operation gestalt of this invention.

[Drawing 5] The cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 4th operation gestalt of this invention.

[Drawing 6] The \*\* type view explaining signs that transposition falls out in the semiconductor device of this operation gestalt.

[Drawing 7] The cross section showing the outline composition of the GaN system blue semiconductor laser equipment which applied the semiconductor device concerning the 5th operation gestalt of this invention.

[Drawing 8] The \*\* type view explaining signs that transposition falls out in the semiconductor device of this operation gestalt.

[Drawing 9] The cross section showing the outline structure of the conventional GaN system semiconductor device.

[Description of Notations]

10 -- Silicon on sapphire (hexagonal type)

11 -- Sphalerite type n-GaN layer (crystal-defect density : about  $10^8$ - $10^{10}$ cm<sup>-2</sup>)

12 -- Sphalerite type n-GaN/n-AlGaIn distorted superlattice layer

13 -- Wurtzite type n-GaN layer

14 -- Wurtzite type n-AlGaIn clad layer

15 -- Wurtzite type undoping GaN barrier layer

- 16 -- Wurtzite type p-AlGa<sub>N</sub> clad layer
- 17 -- Wurtzite type p-GaN contact layer
- 18 -- p lateral electrode
- 19 -- n lateral electrode
- 20 -- Silicon on sapphire (hexagonal type)
- 21 -- Sphalerite type n-GaN layer (crystal-defect density : about 10<sup>8</sup>-10<sup>10</sup>cm<sup>-2</sup>)
- 22 -- Sphalerite type n-GaN/n-InGa<sub>N</sub> distorted superlattice layer
- 23 -- Wurtzite type n-GaN layer
- 24 -- Wurtzite type n-aluminum<sub>0.5</sub> Ga<sub>0.5</sub> N clad layer
- 25 -- Wurtzite type GaN light confining layer
- 26 -- Wurtzite type In<sub>0.1</sub> Ga<sub>0.9</sub> N multiplex quantum well barrier layer
- 27 -- Wurtzite type GaN light confining layer
- 28 -- Wurtzite type p-aluminum<sub>0.5</sub> Ga<sub>0.5</sub> N clad layer
- 29 -- Wurtzite type GaN contact layer
- 30 -- p lateral electrode
- 31 -- n lateral electrode
- 40 -- GaAs (111) substrate (sphalerite type)
- 41 -- Sphalerite type n-GaN layer
- 42 -- Sphalerite type n-InGa<sub>N</sub>/n-AlGa<sub>N</sub> distorted superlattice layer
- 43 -- Wurtzite type n-GaN layer
- 44 -- Wurtzite type n-AlGa<sub>N</sub> clad layer
- 45 -- Wurtzite type undoping InGa<sub>N</sub> barrier layer
- 46 -- Wurtzite type p-AlGa<sub>N</sub> clad layer
- 47 -- Wurtzite type p-GaN contact layer
- 48 -- Current constriction layer
- 49 -- p lateral electrode
- 50 -- n lateral electrode
- 51 -- Double hetero structured division
- 71 -- Sphalerite type InGa<sub>N</sub> layer
- 72 -- Sphalerite type AlGa<sub>N</sub> layer

Fig. 1

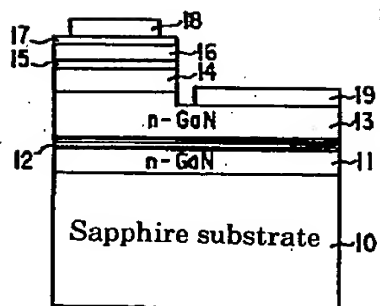
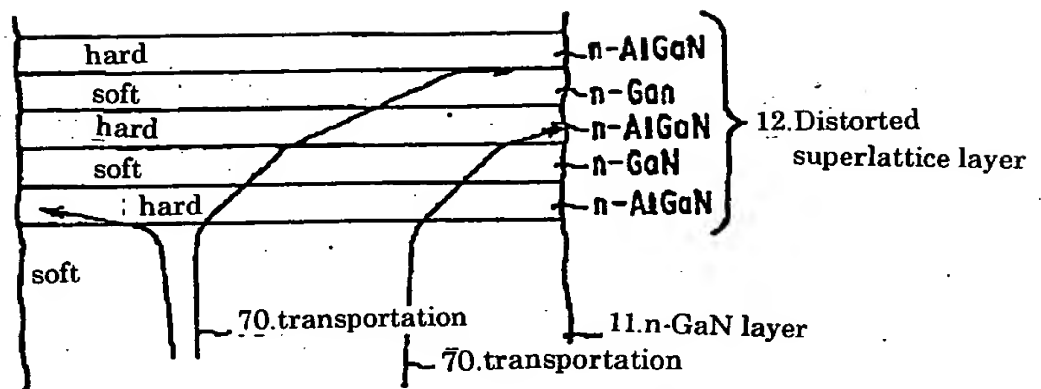


Fig. 2



- When transportation approaches soft layer(n-GaN) to hard layer(n-AlGaN), propagation direction of transportation changes.

Fig. 3

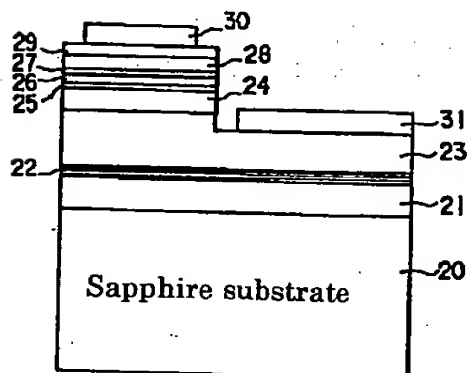


Fig. 4

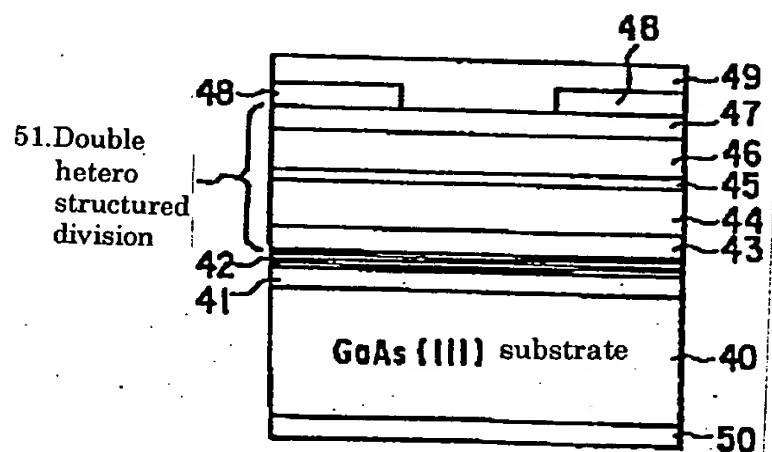


Fig. 5

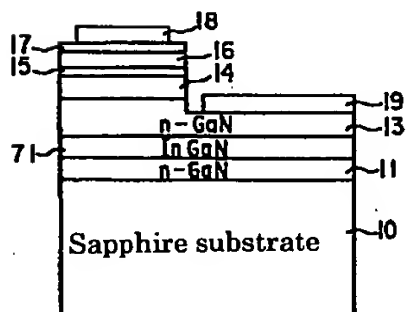


Fig. 6

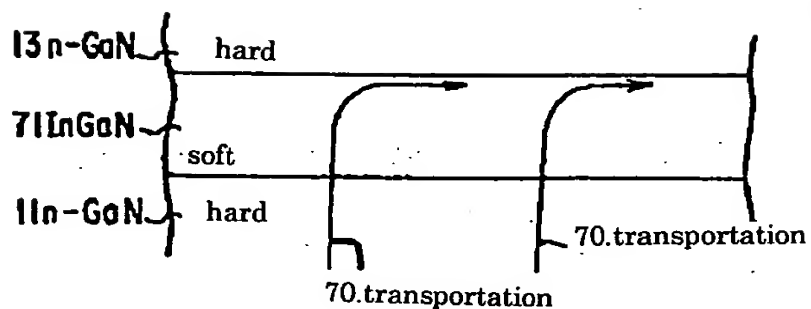


Fig. 7

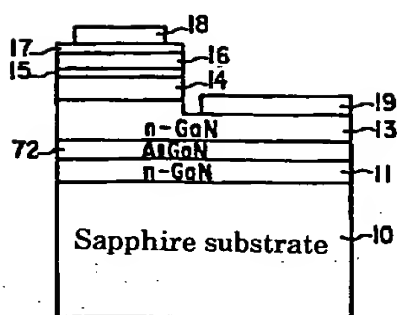


Fig. 8

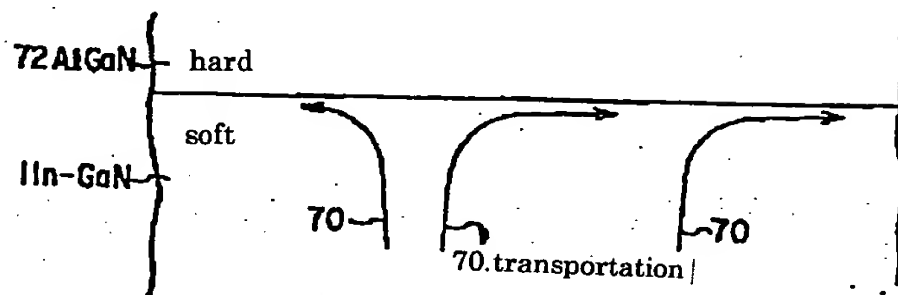
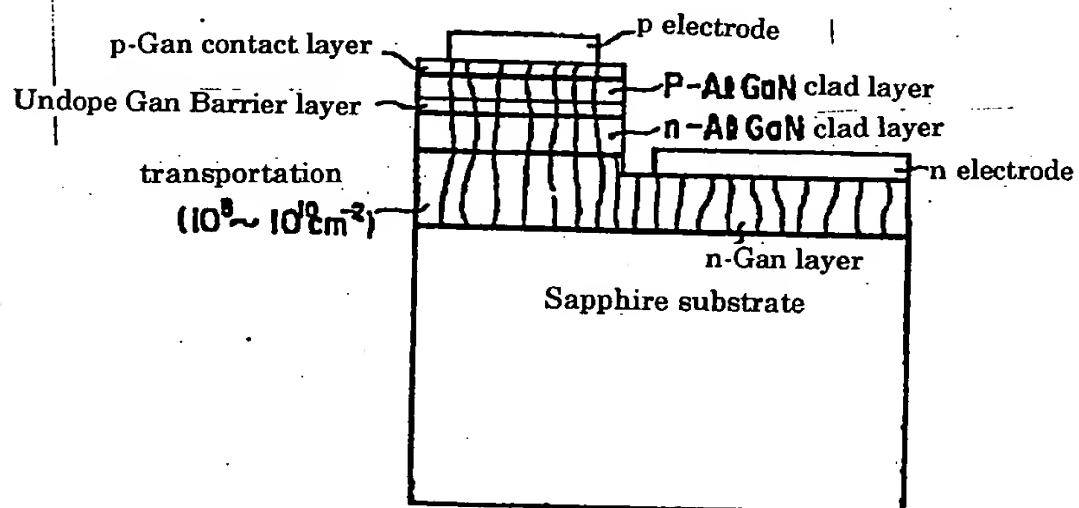


Fig. 9



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 9 - 2 3 2 6 2 9

(43) 公開日 平成9年(1997)9月5日

(51) Int. Cl. <sup>°</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	33/00		H 0 1 L	33/00 C
	21/205			21/205
H 0 1 S	3/18		H 0 1 S	3/18

審査請求 未請求 請求項の数 2

O L

(全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-38259  
(22) 出願日 平成8年(1996)2月26日

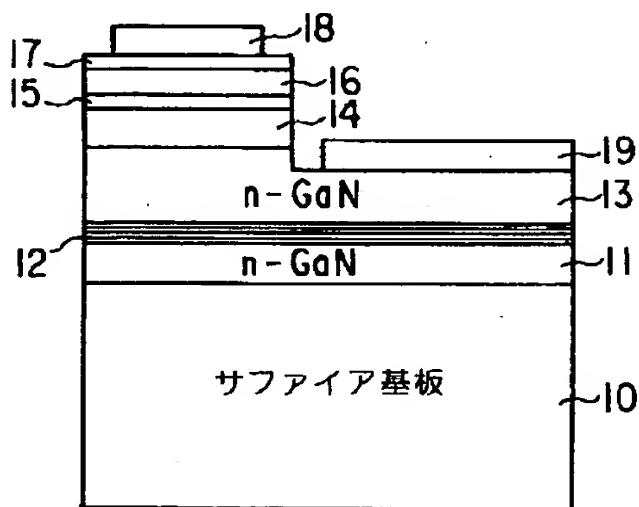
(71) 出願人 000003078  
株式会社東芝  
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地  
(72) 発明者 杉浦 理砂  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内  
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 六方晶型（ウルツ鉱型）半導体素子、例えば GaN 系材料を用いた青色半導体レーザにおいて、転位伝播阻止による長寿命化、信頼性の向上を可能にする。

【解決手段】 六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と六方晶型の半導体からなる素子部との間に { 1 1 1 } 成長面を有する立方晶型の歪超格子を設ける。これにより、半導体素子、特に GaN 系青色半導体レーザにおいて、素子心臓部である活性層への転位伝播を抑制でき、素子の長寿命化、高信頼性化を実現できる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と前記素子部との間に実質的な{111}成長面を有する立方晶型の歪層を設けたことを特徴とする半導体素子。

【請求項2】 六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と前記素子部との間に、{111}面から30度以内の傾斜を有する成長面を含む実質的な{111}成長面を有する立方晶型の歪超格子を設けたことを特徴とする半導体素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体素子、特にGa<sub>2</sub>N、AlGa<sub>2</sub>N、InGa<sub>2</sub>Nなど窒素を含む化合物半導体からなる半導体素子に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】近年、光ディスクの記録密度の向上やレーザープリンタの解像度の向上を図るため、短波長での発光が可能な半導体レーザー(LD)が要求されている。短波長の半導体レーザーとしてInGaAlP材料による600nm帯光源は、ディスクの読み込み、書き込みのどちらも可能なレベルにまで特性改善され、すでに実用化されている。さらなる記録密度向上を目指して青色半導体レーザーの開発が盛んに行われている。

【0003】このような開発において、II-VI族化合物半導体であるZnSe系材料を用いた青緑色半導体レーザーは発振動作が確認されて以来、長寿命化、信頼性向上など実用化を目指した開発が盛んに行われている。

【0004】しかし、この材料系では、成長用基板と素子部を有する成長層との間の格子不整合差や熱膨張係数差により生じた転位が通電により増殖するなどして、信頼性が得られない、寿命が短いなど実用化への障壁は高いことが明らかになりつつある。

【0005】一方、Ga<sub>2</sub>N系半導体レーザーは材料的にZnSe系よりもさらに短波長化が可能であり、信頼性に関してもZnSe系に比べ材料的に硬化であるため有望な材料として期待されている。この材料系では $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の転位が存在するが、LEDにおいては一万時間以上の信頼性が確認されており、現在は次世代の光ディスクシステム光源に必要な条件を満たす青色半導体レーザーの研究開発が盛んに行われている。

【0006】上記のようにLEDでは $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の転位の存在は大きな問題となっていない。しかし、大電流密度注入を必要とするLDでは、前記 $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の高密度の転位の存在が信頼性を低下させる原因となる。

【0007】ところで、現在LED、LDとして一般に用いられているGa<sub>2</sub>N系半導体素子はサファイア基板上に形成されており、六方晶型(ウルツ鉱型)半導体から成る。Ga<sub>2</sub>N系の結晶は六方晶型と立方晶型とが存在す

るが、これまでのところLED、LD用を得るためのGa<sub>2</sub>N結晶としては、六方晶型の方が結晶品質の面で有利であるという結果が多く報告されている。

【0008】図9は従来のGa<sub>2</sub>N系半導体素子の概略構造を示す断面図である。六方晶型結晶における転位は(101<sup>-</sup>0)、(11<sup>-</sup>00)(1<sup>-</sup>は1のインバースを表す。以下同じ)などの柱面上で最もすべりを生じやすいため、図9に示すようにサファイア基板とGa<sub>2</sub>N層との間の格子不整合により生じた $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の高密度の転位が、成長方向(成長面と垂直方向)に伝播し、活性層さらに表面まで貫通する。

【0009】したがって、活性層には $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の高密度の転位が存在するため結晶性は悪く、LDの場合、大電流密度注入により転位の伝播、増殖が生じるなど、素子の信頼性を低下させるため問題となる。

【0010】Ga<sub>2</sub>N系半導体レーザーの信頼性を確保するためには、基板と成長層の界面で発生する転位の密度を低減すること、または現在存在する $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の高密度の転位を活性層に伝播させないことが重要である。

## 【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上のように、従来の窒化物系半導体素子をはじめとする六方晶型の半導体素子では、基板と成長層との界面で発生した転位が成長方向(成長面と垂直方向)へ最も伝播しやすいため、一旦界面で生じた転位はそのまま素子部を貫通し、成長層表面にぬけることになる。特にGa<sub>2</sub>N系LDの場合、素子心臓部である活性層に $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の高密度の転位が伝播し、大電流密度注入により素子の信頼性を低下させるという問題があった。

【0012】本発明は上記事情を考慮してなされたもので、基板と成長層との界面で発生した転位を素子心臓部(発光素子の場合は活性層)へ貫通しないような構造を有することにより、素子の信頼性を確保できる半導体素子を提供することを目的とする。

## 【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、まず、請求項1に対応する発明は、六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と素子部との間に実質的な{111}成長面を有する立方晶型の歪層を設けた半導体素子である。

【0014】次に、請求項2に対応する発明は、六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と素子部との間に、{111}面から30度以内の傾斜を有する成長面を含む実質的な{111}成長面を有する立方晶型の歪超格子を設けた半導体素子である。

(作用)これにより、まず、請求項1に対応する発明の半導体素子によれば、六方晶型の半導体素子心臓部の下部に{111}成長面を有する立方晶型の歪層を設ける

ことにより、基板と成長層との界面で発生した高密度の転位の成長方向への伝播を抑制できる。

【0015】つまり、基板からの転位が、歪層に達したとき、立方晶型結晶のすべり面である{111}面でのすべりにより、転位の大部分が半導体素子側部に抜けるものである。

【0016】したがって、基板と成長層との界面で発生した転位を素子心臓部（発光素子の場合は活性層）へ貫通しないような構造を有することにより、素子の信頼性を確保できる。

【0017】なお、この歪層は単層の歪層であってもよいが、例えば歪超格子層を用いればより一層効果的である。次に、請求項2に対応する発明の半導体素子においては、実質的な{111}成長面には、{112}成長面や{113}成長面等の{111}面から30度以内の傾斜を有する成長面を含んでいる。{111}面から30度以内程度の傾斜があっても{111}面でのすべりによる上記した脱転位効果は十分働き、請求項1記載の半導体素子と同様に作用する。

【0018】なお、上述した課題を解決する手段としては、上記手段の他、以下の内容をも含む。

(1) 前記素子部はGa<sub>0.5</sub>N、AlGa<sub>0.5</sub>N、InGa<sub>0.5</sub>N等の窒素を含む化合物半導体からなることを特徴とする請求項1又は2記載の半導体素子。

(2) 六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と前記素子部との間に実質的な{111}成長面を有する立方晶型の半導体層を備え、当該立方晶型の半導体層は前記素子部側にて接する他の半導体層よりもやわらかい層であることを特徴とする半導体素子。

(3) 六方晶型の半導体からなる素子部を有する半導体素子において、成長基板と前記素子部との間に実質的な{111}成長面を有する立方晶型の半導体層を備え、当該立方晶型の半導体層は前記成長基板側にて接する他の半導体層よりもかたい層であることを特徴とする半導体素子。

【0019】なお、上記(2)又は(3)のように立方晶型の半導体層として単層を用いた場合でも十分に脱転位効果は得られるが、(2)及び(3)における各立方晶型の半導体層を組み合わせ用いた歪超格子の場合が最も効果的に転位を減少させることができる。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

(発明の第1の実施の形態) 図1は本発明の第1の実施形態に係る半導体素子を適用したGa<sub>0.5</sub>N系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図である。

【0021】この半導体レーザ装置においては、サファイア基板10上に形成されている。サファイア基板10上には、有機金属気相成長法(MOCVD法)により、

まず(111)成長面を有する立方晶型(閃亜鉛鉱型)のn-GaN層11(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を650℃で成長する。

【0022】その上にn-GaN層とn-AlGa<sub>0.5</sub>N層を臨界膜厚以下で交互に成長する歪超格子層12(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を650℃で成長する。この歪超格子層12は(111)成長面を有する閃亜鉛鉱型のn-GaN層11上に同一条件で成長させることにより、同様の(111)成長面を有する閃亜鉛鉱型の歪超格子層となる。

【0023】次に、成長条件を調整することによって歪超格子層12の上に六方晶型(ウルツ鉱型)を有するn-GaN層13(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を形成し、引き続いてウルツ鉱型のn-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層14(Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.15μm)、Ga<sub>0.5</sub>N活性層15(アンダードープ、層厚0.1μm)、p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層16(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.15μm)、Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層17(Mgドープ、 $1 \sim 3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.1μm)を順次1150℃で成長させる。ここで、閃亜鉛鉱型結晶からウルツ鉱型結晶への結晶形態の制御は、成長温度、および水素、窒素キャリアガス、窒素原料であるアンモニアの流量比の制御により行われる。

【0024】また、特に図示しないが、n-GaN層11とサファイア基板10の間には、MOCVD成長時に550℃で低温成長させたAlNバッファ層が設けられている。

【0025】さらに、Ga<sub>0.5</sub>Nコンタクト層17上面には、p側電極18が設けられ、n-GaN層13上のn-AlGa<sub>0.5</sub>Nクラッド層14が積層されていない上面部分には、n側電極19が設けられる。このようにして本実施形態に係る青色半導体レーザ装置が得られた。

【0026】上記構成の青色半導体レーザ装置について、透過電子顕微鏡により断面からの素子観察を行ったところ、サファイア基板10とn-GaN層11との界面で格子不整合により発生した $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の高密度の転位の大部分が、本発明により設けた歪超格子層12で伝播方向を変えており、活性層15における転位密度は $10^3 \text{cm}^{-2}$ 台にまで減少していることが確認された。

【0027】このように転位密度が減少する理由について図2を用いて説明する。図2は本実施形態の半導体素子において転位が抜ける様子を説明する模式図である。

【0028】半導体中を伝搬する転位は、やわらかい半導体層から相対的にかたい半導体層に入ろうとすると、その転位伝搬の進行が阻まれ、伝搬方向を変えることになる。この様子を示したのが図2である。

【0029】歪超格子層12を構成するn-GaN層とn-AlGa<sub>0.5</sub>N層とでは、n-GaN層に比しn-Al

GaN層がかたい層となっている。したがって、同図に示すように、 $n\text{-AlGaIn}$ 層から $n\text{-GaN}$ 層に入ろうとする位置で、転位70は水平方向にその伝搬方向を変えることになる。

【0030】具体的には、このような転位伝搬方向の変更が起こるのは、立方晶型結晶のすべり面が(111)面であることによっている。つまり、(111)成長面を有する閃亜鉛鉱型の $n\text{-GaN}$ 層と $n\text{-AlGaIn}$ 層から成る歪超格子層12を基板と活性層の間に設けたことにより、サファイア基板10と $n\text{-GaN}$ 層11との10  
界面で発生した転位の大部分が、立方晶型結晶のすべり面である(111)面、しかも歪超格子の歪み方向から成長面と平行な(111)面上で最も滑りやすくなるため、伝播方向を曲げられ素子の側面(成長方向と垂直方向)に抜けると考えられる。

【0031】これにより、上記したように活性層15を含む $n\text{-GaN}$ 層13以降の活性層15を含む半導体層の転位密度は大幅に減少する。以上のように作製した半導体レーザ装置は、しきい値150mAで室温連続発振した。発振波長は365nm、動作電圧は10Vであつた。20

【0032】上述したように、本発明の第1の実施の形態に係わる半導体素子によれば、六方晶型の半導体素子心臓部の下部に(111)成長面を有する立方晶型の歪超格子層等を設け、基板と成長面との界面で発生した高密度の転位の成長方向への伝播を抑制するようにしたので、GaN系青色半導体レーザにおいては基板と成長層との界面で発生した $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の転位を歪超格子により活性層部では $10^3 \text{cm}^{-2}$ にまで減少させることができ、信頼性が大幅に向上させることができる。30

【0033】すなわち従来技術で説明した構造のGaN系青色半導体レーザでは、基板と成長層との界面で発生した $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ の存在により、レーザ発振が困難であるか、レーザ発振動作が確認されても大電流密度注入により数秒ないしは数分の動作寿命で素子が破壊されるなど、素子の信頼性が得られていなかった。

【0034】これに対し、本実施形態の内容に従い作製した上述の半導体素子では、動作電圧が高い点はそのままであるにかかわらず、動作寿命が従来の100~1000倍に延び、素子の信頼性が大幅に向上した。(発明の第2の実施の形態)第2の実施形態として、第1の実施形態と同様、MOCVD法により作製したやや構造の異なる青色半導体レーザ素子について説明する。

【0035】図3は本発明の第2の実施形態に係る半導体素子を適用したGaN系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図である。このGaN系青色半導体レーザ装置においては、サファイア基板20上に550℃の低温でGaNバッファ層(図示せず)を設け、その上に第1の実施形態の場合と同様に、まず(111)成長面を有する立方晶型(閃亜鉛鉱型)の $n\text{-GaN}$ 層21 50

(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を750℃で成長させる。

【0036】さらに、 $n\text{-GaN}$ 層21上に、同じく(111)成長面を有する閃亜鉛鉱型の $n\text{-GaN}/n\text{-InGaIn}$ 歪超格子層22(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を750℃で成長させる。

【0037】次に、六方晶型(ウルツ鉱型)を有する $n\text{-GaN}$ 層23(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を形成し、続いて $n\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラッド層24(Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.3 $\mu\text{m}$ )、GaN光閉じ込め層25(アンドープ、層厚0.2 $\mu\text{m}$ )、 $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ 多重量子井戸活性層26、GaN光閉じ込め層27(アンドープ、層厚0.2 $\mu\text{m}$ )、 $p\text{-Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ クラッド層28(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.3 $\mu\text{m}$ )、GaNコンタクト層29(Mgドープ、 $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.1 $\mu\text{m}$ )を順次1150℃で成長させる。

【0038】さらに、GaNコンタクト層29上面には、p側電極30が設けられ、 $n\text{-GaN}$ 層23上の $n\text{-AlGaIn}$ クラッド層24が積層されていない上面部分には、n側電極31が設けられる。このようにして本実施形態に係わる青色半導体レーザ装置が得られた。

【0039】この青色半導体レーザ装置においても活性層26の転位密度は十分に低減された。次に、上記構成の青色半導体レーザ装置の発振動作を説明する。

【0040】本構造の素子ではしきい値75mAで50℃まで連続発振した。発振波長は395nm、動作電圧は7Vで5000時間までの安定動作を確認した。上述したように、本発明の第2の実施の形態に係わる半導体素子によれば、第1の実施形態の場合と同様に、六方晶型の半導体素子心臓部の下部に(111)成長面を有する立方晶型の歪超格子層等を設けたので、第1の実施形態の場合と同様な効果が得られた。

(発明の第3の実施の形態)第3の実施形態として、第1、第2の実施形態と同様のGaN系半導体レーザを、立方晶型(閃亜鉛鉱型)のIII-V族化合物半導体であって、光デバイス、電子デバイス等に広く利用されているGaAs基板上に形成する場合について説明する。

【0041】図4は本発明の第3の実施形態に係る半導体素子を適用したGaAs基板上に形成したGaN系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図である。このGaN系青色半導体レーザ装置においては、立方晶型(閃亜鉛鉱型)の $n\text{-GaAs}$ (111)基板40上に、有機金属気相成長法(MOCVD法)により、まず、(111)成長面を有する立方晶型(閃亜鉛鉱型)の $n\text{-GaN}$ 層41(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を550℃で成長させる。

【0042】その上に $n\text{-GaN}$ 層と $n\text{-InGaIn}$ 層を臨界膜厚以下で交互に成長させた歪超格子層42(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を設ける。この歪超格



子層42も同様の(111)成長面を有する閃亜鉛鋅型となる。

【0043】次に750℃において、水素、窒素キャリアガスおよびアンモニアの流量を変更し、六方晶型(ウルツ鋅型)を有するn-GaN層43(Siドープ、 $3 \sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ )を形成し、続いてウルツ鋅型のn-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層44(Siドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.2μm)、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N活性層45(アンドープ、層厚200オングストローム)、p-Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層46(Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.2μm)、GaNコンタクト層47(Mgドープ、 $1 \sim 3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、層厚0.1μm)を順次750℃で成長させる。

【0044】ここでn-GaN層43、n-AlGaIn層44、InGaIn活性層45、p-AlGaIn層46、GaNコンタクト層47からなる各層、すなわち素子部としてのダブルヘテロ構造部51は立方晶型よりも安定である六方晶型で構成することで素子特性の信頼性が向上する。

【0045】また、この半導体レーザ装置においては、開口を有する円板上に構成されたSiO<sub>2</sub>からなる電流狭窄層48がGaNコンタクト層47の上に設けられ、さらに上記開口を介してGaNコンタクト層27と直接接触するようにp側電極49が設けられている。一方、n-GaAs基板20の下側にはn側電極50が設けられている。

【0046】上記構成の青色半導体レーザ装置について、透過電子顕微鏡により断面からの素子観察を行ったところ、第1の実施形態の場合と同様、GaAs基板40とn-GaN層41との界面で生じた転位の大部分が、本実施形態において設けた歪超格子層42により(111)成長面上ですべりを生じた結果伝播方向を変えられ、素子側面(成長方向と垂直方向)にぬけていることが確認された。活性層45における転位密度は $10^9 \text{cm}^{-2}$ 台にまで減少していた。

【0047】次に、上記構成の青色半導体レーザ装置の発振動作について説明する。本実施例のダブルヘテロ構造を有する半導体レーザ装置は、しきい値45mAで80℃まで連続発振した。発振波長は395nm、動作電圧は4Vで7000時間までの安定動作を確認した。

【0048】上述したように、本発明の第3の実施の形態に係わる半導体素子によれば、第1の実施形態の場合と同様に、六方晶型の半導体素子心臓部の下部に(111)成長面を有する立方晶型の歪超格子層等を設けた他、基板としてGaAs基板40を用い、基板方向に電流を流せるようにしたので、第1の実施の形態の場合と同様な効果が得られる他、本レーザでは特に素子抵抗の面で改善をすること、すなわち抵抗値を低くすることができる。

【0049】従来技術と同様に、つまり第1の実施形態

のように絶縁性基板を用いた場合には、横方向から電流を注入する方式になるために抵抗は高くなるが、本実施形態のように導電性基板を用いた場合は基板方向に電流を流すことが可能であり、著しく素子抵抗が改善される。

【0050】つまり、従来構造のGaN系青色半導体レーザでは、基板と成長層との界面で発生した高密度の転位の大部分がInGaIn活性層45まで伝播しており、レーザ発振のための大電流密度注入により、高抵抗であることと相俟って、素子の動作寿命は数分程度であり信頼性が得られなかった。

【0051】しかし、本実施形態の場合は、活性層45の低転位密度化、低抵抗化により、動作寿命が従来の約7000倍に延び、素子の信頼性が大幅に向上した。

(発明の第4の実施の形態) 本実施の形態は、単層の歪層を用いた場合を示すものである。

【0052】図5は本発明の第4の実施形態に係る半導体素子を適用したGaN系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその説明を省略する。

【0053】このGaN系青色半導体レーザ装置は、歪超格子層に代えて立方晶型のInGaIn層71を設けた他、第1の実施形態と同様に構成されている。このInGaIn層71は、n-GaN層13に比し、やわらかい層であり、これにより、図6に示すように転位が抜け、活性層15の転位密度は低くなっている。

【0054】図6は本実施形態の半導体素子において転位が抜ける様子を説明する模式図である。同図において、やわらかい層であるInGaIn層71内を上方に伝搬する転位70は、かたい層であるn-GaN層13に近づくと、(111)成長面上ですべりを生じてその伝搬方向を変えられ、当該転位70は半導体素子側部から抜ける。

【0055】上述したように、本発明の第4の実施の形態に係わる半導体素子によれば、第1の実施形態の場合と同様の構成を有する他、歪超格子層に代えて立方晶型のInGaIn層71を設けたので、第1の実施の形態の場合と同様、活性層の低転位密度化を図ることができる。

(発明の第5の実施の形態) 本実施の形態は、単層の歪層を用いた場合を示すものである。

【0056】図7は本発明の第5の実施形態に係る半導体素子を適用したGaN系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその説明を省略する。

【0057】このGaN系青色半導体レーザ装置は、歪超格子層に代えて立方晶型のAlGaIn層72を設けた他、第1の実施形態と同様に構成されている。このAlGaIn層72は、n-GaN層11に比し、かたい層であり、これにより、図8に示すように転位が抜け、活性

層15の転位密度は低くなっている。

【0058】図8は本実施形態の半導体素子において転位が抜ける様子を説明する模式図である。同図において、やわらかい層である $n$ -Ga $N$ 層11内を上方に伝搬する転位70は、かたい層であるAlGa $N$ 層72に近づくと、(111)成長面上ですべりを生じてその伝搬方向を変えられ、当該転位70は半導体素子側部から抜ける。

【0059】上述したように、本発明の第5の実施の形態に係わる半導体素子によれば、第1の実施形態の場合と同様の構成を有する他、歪超格子層に代えて立方晶型のAlGa $N$ 層72を設けたので、第1の実施の形態の場合と同様、活性層の低転位密度化を図ることができる。

【0060】なお、上記各実施形態においては、六方晶型サファイア基板、立方晶型GaAs基板をその基板として用いたが、本発明はこれに限定されるものではなく、SiC、Si、ZnO、スピネル、ネオジムガレート(NdGaO<sub>3</sub>、NGO)等を基板とした場合でも同様に適用が可能である。

【0061】また、上記第1、第2、第4、第5の実施形態のような結晶成長の場合、一般的にはサファイア基板の(0001)面が成長面として用いられるが、本発明はこれに限られるものではなく、例えばサファイア基板の(011 $\bar{2}$ )面等の種々の面を用いることができる。

【0062】さらに、上記各実施形態では、超格子層12、22、42、InGa $N$ 層71、AlGa $N$ 層72等の転位抜きのための層を(111)成長面の場合で説明したが、本発明はこの場合に限られるものではない。例えば{112}面や{113}面等の{111}面から30度以内程度の傾斜を有する面であれば、立方晶型結晶のすべり面である(111)面でのすべりによる転位抜け効果は十分に発揮でき、このような場合も本発明の範囲に含まれる。なお、各実施形態では結晶面の表現として(111)で説明したが、(111)の場合でも同様な効果を得られることはいうまでもない。

【0063】さらにまた、本発明は、六方晶型を有する半導体層として、半導体発光素子のみならず、受光素子、トランジスタ等の電子デバイス分野へも適用が可能である。なお、本発明は、上記各実施の形態に限定されるものでなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。

#### 【0064】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、六方晶型の半導体層の下部に(111)成長面を有する立方晶型の半導体層を設けて転位の成長方向への伝播を抑制するようにしたので、基板と成長層との界面で発生した転位を素子心臓部(発光素子の場合は活性層)へ貫通しないようにして、素子の信頼性を確保できる半導体

素子を提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体素子を適用したGa $N$ 系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図。

【図2】同実施形態の半導体素子において転位が抜ける様子を説明する模式図。

【図3】本発明の第2の実施形態に係る半導体素子を適用したGa $N$ 系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図。

【図4】本発明の第3の実施形態に係る半導体素子を適用したGaAs基板上に形成したGa $N$ 系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図。

【図5】本発明の第4の実施形態に係る半導体素子を適用したGa $N$ 系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図。

【図6】同実施形態の半導体素子において転位が抜ける様子を説明する模式図。

【図7】本発明の第5の実施形態に係る半導体素子を適用したGa $N$ 系青色半導体レーザ装置の概略構成を示す断面図。

【図8】同実施形態の半導体素子において転位が抜ける様子を説明する模式図。

【図9】従来のGa $N$ 系半導体素子の概略構造を示す断面図。

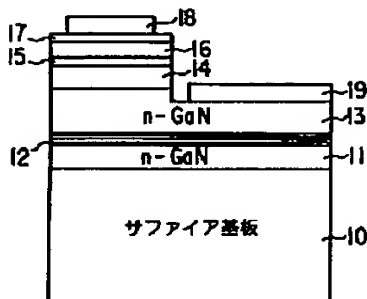
#### 【符号の説明】

- 10…サファイア基板(六方晶型)
- 11…閃亜鉛鉱型 $n$ -Ga $N$ 層(結晶欠陥密度:約 $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ )
- 12…閃亜鉛鉱型 $n$ -Ga $N$ / $n$ -AlGa $N$ 歪超格子層
- 13…ウルツ鉱型 $n$ -Ga $N$ 層
- 14…ウルツ鉱型 $n$ -AlGa $N$ クラッド層
- 15…ウルツ鉱型アンドープGa $N$ 活性層
- 16…ウルツ鉱型 $p$ -AlGa $N$ クラッド層
- 17…ウルツ鉱型 $p$ -Ga $N$ コンタクト層
- 18… $p$ 側電極
- 19… $n$ 側電極
- 20…サファイア基板(六方晶型)
- 21…閃亜鉛鉱型 $n$ -Ga $N$ 層(結晶欠陥密度:約 $10^8 \sim 10^{10} \text{cm}^{-2}$ )
- 22…閃亜鉛鉱型 $n$ -Ga $N$ / $n$ -InGa $N$ 歪超格子層
- 23…ウルツ鉱型 $n$ -Ga $N$ 層
- 24…ウルツ鉱型 $n$ -Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub> $N$ クラッド層
- 25…ウルツ鉱型Ga $N$ 光閉じ込め層
- 26…ウルツ鉱型In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub> $N$ 多重量子井戸活性層
- 27…ウルツ鉱型Ga $N$ 光閉じ込め層
- 28…ウルツ鉱型 $p$ -Al<sub>0.6</sub>Ga<sub>0.4</sub> $N$ クラッド層

11

- 29...ウルツ鉱型Ga<sub>2</sub>Nコンタクト層  
 30...p側電極  
 31...n側電極  
 40...GaAs(111)基板(閃亜鉛鉱型)  
 41...閃亜鉛鉱型n-GaN層  
 42...閃亜鉛鉱型n-InGa<sub>2</sub>N/n-AlGa<sub>2</sub>N歪超格子層  
 格子層  
 43...ウルツ鉱型n-GaN層  
 44...ウルツ鉱型n-AlGa<sub>2</sub>Nクラッド層

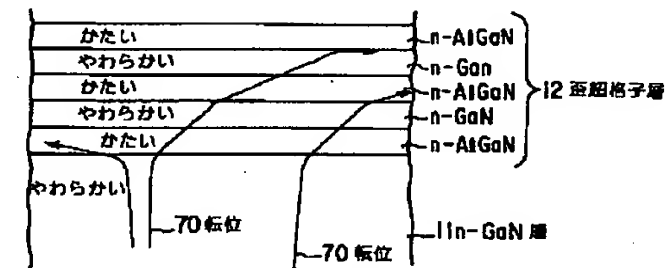
【図1】



12

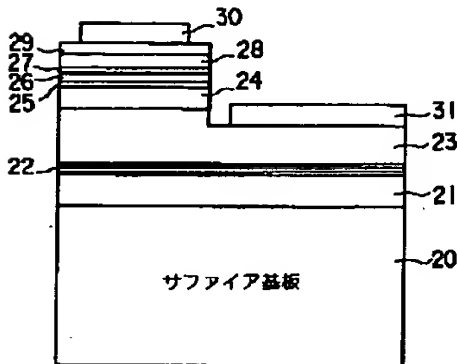
- 45...ウルツ鉱型アンドープInGa<sub>2</sub>N活性層  
 46...ウルツ鉱型p-AlGa<sub>2</sub>Nクラッド層  
 47...ウルツ鉱型p-GaNコンタクト層  
 48...電流狭窄層  
 49...p側電極  
 50...n側電極  
 51...ダブルヘテロ構造部  
 71...閃亜鉛鉱型InGa<sub>2</sub>N層  
 72...閃亜鉛鉱型AlGa<sub>2</sub>N層

【図2】

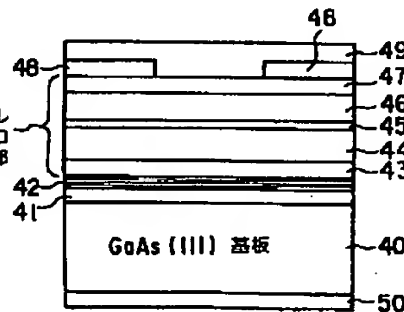


・転位の伝播方向が変わる様子  
 転位がやわらかい層(n-GaN)からかたい層(n-AlGa<sub>2</sub>N)に近づくとき転位の伝播方向が変わる。

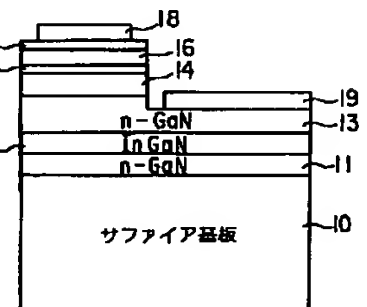
【図3】



【図4】

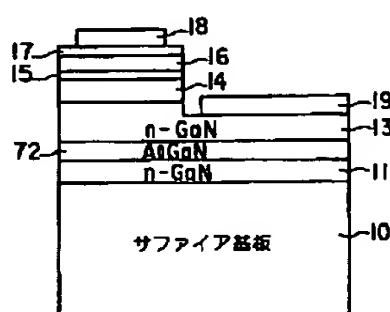
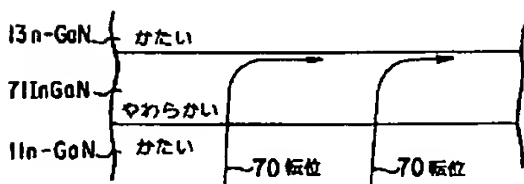


【図5】

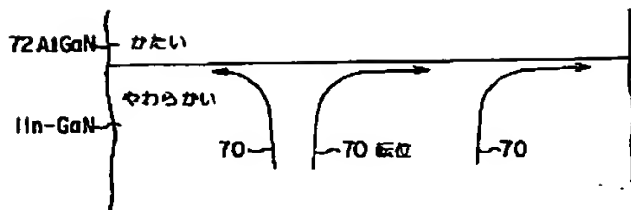


【図7】

【図6】



【図8】



【図9】

